



Luftqualität bei Verwendung von Schutzvorrichtungen für Mund und Nase

Eine Studie des Labors für Luftanalysen und Strahlenschutz



Anordnung für die Prüfung der Schutzvorrichtungen für Mund und Nase (Foto: Landesagentur für Umwelt und Klimaschutz)

Autoren:

Gianmaria Fulici

Clara Peretti

Luca Verdi

Richard Oberkalmsteiner

Labor für Luftanalysen und Strahlenschutz

Landesagentur für Umwelt und Klimaschutz

Amba-Alagi-Straße 5, 39100 Bozen

Bozen, September 2020



INHALT

1. EINLEITUNG	3
2. VERWEISE	3
3. BEGRIFFSBESTIMMUNGEN UND ABKÜRZUNGEN	4
4. ZWECK UND ANWENDUNGSBEREICH	5
5. VERWENDETE MODELLE UND MESSMETHODEN	5
5.1 Gemessene Parameter und Indikatoren	5
5.2 Einatemluft	5
5.3 Ausatemluft	9
5.4 Thermografische Untersuchung	9
5.5 Subjektive Untersuchungen	9
5.6 Analysen an den Schutzvorrichtungen	9
5.7 Messgeräte	9
6. RESULTATE	10
6.1 Atemzüge, Volumen, und Zusammensetzung der Ausatemluft	10
6.2 Einfluss der Luftgeschwindigkeit	12
6.3 Messungen mit und ohne Schutzvorrichtung	15
6.4 Analyse der Oberflächentemperaturen des Gesichtes	22
6.5 Feuchte, die von der Schutzvorrichtung aufgenommen wurde	23
6.6 Subjektive Analysen	23
6.7 Zusammenfassung der Daten	26
7. SCHLUSSFOLGERUNGEN	29



1. EINLEITUNG

Seit Jahren führt das Labor für Luftanalysen und Strahlenschutz Messungen und Bewertungen der Luftqualität in Lebens- und Aufenthaltsräumen durch. Lebens- und Aufenthaltsräume sind geschlossene Räume ohne industrielle oder handwerkliche Arbeitstätigkeit. Die Bewertungen betrafen hauptsächlich die Schulen in denen Studierende und Lehrende während der Lern- und Lehrtätigkeit ein- und ausatmen. Bedenken wir dabei, dass ein Studierender einen beträchtlichen Teil der Tageszeit in der Schule und mehr als 90% seines Lebens in geschlossenen Räumen verbringt. Das Wohlergehen, der Komfort und die Gesundheit hängen stark davon ab, was eine Person im Raum, in dem sie sich befindet, einatmet. Bei idealen Bedingungen atmen wir ein Gasgemisch ein, das zu 20,9 % aus Sauerstoff (O₂), zu 78% aus Stickstoff (N₂), zu 0,04% (400 ppm) aus Kohlendioxid (CO₂), zu 1% aus inerten Gasen mit einem schwankenden Anteil aus Feuchte (im Mittel 6 g/m³ an Wasser) besteht. Über unseren Stoffwechsel verbrauchen wir einen Teil dieses Sauerstoffes und produzieren dabei Kohlendioxid und flüchtige organische Verbindungen, die wir an die Umgebungsluft abgeben. Je intensiver unsere körperliche Aktivität ist, desto größer ist die Menge Sauerstoff, den wir verbrauchen und die Menge an Kohlendioxid, das wir produzieren. Dieses Gasgemisch, das wir Luft nennen, verändert seine Zusammensetzung zum Schlechteren je länger wir uns im geschlossenen Raum aufhalten, je mehr Personen sich im geschlossenen Raum aufhalten und je weniger der geschlossene Raum gelüftet wird. In diesen Fällen nimmt die Menge an Sauerstoff ab, nimmt die Menge an Kohlendioxid und anderer Substanzen, wie flüchtige organische Verbindungen, zu. Es nimmt auch die Menge an Staubteilchen und Aerosolen zu und die Raumluftqualität wird in kurzer Zeit hygienisch inakzeptabel. Die letzte sanitäre Notfallsituation, ausgelöst durch das SARS-CoV-2, hat es notwendig gemacht, über lange Zeiträume die Atemwege mit Schutzvorrichtungen zu bedecken, wenn man einen nahen Kontakt zu anderen Personen hat: mit Masken, mit Schlauchtüchern und mit Gesichtsschutzvisieren, die zur Folge haben, dass sich die Qualität der eingeatmeten Luft verändert und bei den Benutzern ein Unbehagen ausgelöst wird.

Wenn man bei den alltäglichen Aktivitäten eine Mund und Nase abdeckende Schutzvorrichtung trägt, wird ein Teil der ausgeatmeten verbrauchten Luft hinter der Schutzvorrichtung zurückgehalten und wieder eingeatmet.

Die gegenwärtige Untersuchung verfolgt das Ziel, die Qualität der Luft, die von einer Person eingeatmet wird, wenn eine Schutzvorrichtung getragen wird, und das daraus resultierende Unbehagen, zu bestimmen. Verdeckt man Mund und Nase erschafft man einen „Mikro“-Lebensraum, in dem wir ein- und ausatmen.

2. VERWEISE

UNI EN 16798-1	Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per gli edifici - Parte 1: Parametri di ingresso dell'ambiente interno per la progettazione e la valutazione della prestazione energetica degli edifici in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica.
ISO 17772-1	Indoor environmental input parameters for the design and assessment of energy performance of buildings.
UNI EN 14683:2019	Maschere facciali ad uso medico - Requisiti e metodi di prova.



Ad-hoc AG IRK/AOLG, 2008 Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden - Erarbeitet durch die Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden.

3. BEGRIFFSBESTIMMUNGEN UND ABKÜRZUNGEN

PID	Photoionisationsdetektor
TVOC	Summe der flüchtigen organischen Verbindungen
VOC	flüchtige organische Verbindungen als Einzelkomponenten
CO₂	Kohlendioxid
O₂	Sauerstoff
N₂	Stickstoff
ppm	Teil pro Millionen Teile
Schutzvorrichtung	mechanische Abdeckung für Mund und Nase; in diesem Zusammenhang: die chirurgische Maske, das Gesichtsschutzvisier, das Schlauchtuch, der selbstgenähte Mund-Nasen-Schutz, kurz MNS
Ausatmung	Teil der Atmung, bei der die Luft, die in den Lungen enthalten ist, über die Atemwege ausgeatmet wird.
Einatmung	Physiologischer Vorgang, der es ermöglicht, dass die Luft aus dem Freien in die Lungen eindringt.
Eingeatmetes CO₂	CO ₂ -Konzentration in ppm, die eine Person in ihre Atemwege einbringt
Wiedereingeatmetes CO₂	Verhältnis in Prozent zwischen eingeatmetem und ausgeatmetem CO ₂
Test 1..n	Person, die an der Prüfung teilnimmt
Likert Skala	Technik zur Messung von Einstellungen und Meinungen die durch das Ausfüllen von Fragebögen erhoben werden.
Thermographie	Erfassung der Temperaturverteilung der Oberfläche eines Körpers, wobei über geeignete Messgeräte die infrarote Strahlung gemessen wird, die vom Körper abgestrahlt wird.



4. ZWECK UND ANWENDUNGSBEREICH

Die Ziele der folgenden Untersuchung sind:

- Die Beschreibung der Qualität der Luft, die von einer Person eingeatmet wird, wenn diese eine Schutzvorrichtung unter verschiedenen Nutzungsbedingungen trägt.
- Die Überprüfung; ob die Materialien, aus denen die Schutzvorrichtung gefertigt ist, Schadstoffe abgeben, die vom Träger des Schutzes eingeatmet werden können.
- Die Bewertung des Unbehagens, das man beim Tragen der Schutzvorrichtung, über eine längere Zeitspanne verspürt.

Die Studie befasst sich nicht mit den folgenden Aspekten:

- Die Effizienz einer Schutzvorrichtung um die Virusübertragung zu verhindern.
- Toxikologische und sanitäre Wirkungen bei einer Schadstoffexposition.
- Qualität der eingeatmeten Luft mit einer Schutzvorrichtung unter intensiver körperlicher Anstrengung.

5. VERWENDETE MODELLE UND MESSMETHODEN

5.1 Gemessene Parameter und Indikatoren

Die Hauptbestandteile der Luft, die von einer Person eingeatmet und ausgeatmet werden, sind Sauerstoff (O_2), Kohlendioxid (CO_2), Stickstoff (N_2), flüchtige organische Verbindungen (VOC), biologische Wirkstoffe und Wasserdampf. Ähnlich wie bei der Bewertung der Luftgüte in Lebens- und Aufenthaltsräumen, wird auch bei den Prüfungen zu dieser Untersuchung als einziger Indikator das CO_2 herangezogen, weil es zum einen leicht und genau zu messen ist, und weil zum anderen sein Vorhandensein oder seine Verdünnung in der Raumluft repräsentativ auch für andere Verbindungen ist, die eventuell ein- oder ausgeatmet werden. O_2 und TVOC wurden trotzdem während der Prüfungen gemessen und aufgezeichnet, aber die Aufarbeitung der Daten, die hier wiedergegeben werden, betrifft nur das Parameter CO_2 .

5.2 Einatemluft

Die Methode zur Probenahme und Messung, die für die Prüfungen verwendet wurde, muss folgende Anforderungen erfüllen:

1. Die normale Atmung darf nicht gestört werden: die Luft, die vom Messsystem gesammelt wird, muss repräsentativ sein für jene, die von der Person eingeatmet wird.
2. Die Luft, die in die Lungen gelangt (Einatemluft) muss von der Luft, die die Lungen verlässt (Ausatemluft) getrennt gesammelt und gemessen werden.

Die Messtechnik, die verwendet wurde, sieht vor, dass während aller einzelnen Einatemzüge eine kleine Luftmenge über eine Sonde angesaugt wird, die sich zwischen Mund und Nase befindet, und diese Luft in einem Tedlar-Gasbeutel (PVDF) gesammelt wird, bis dieser voll ist. Die Überführung der Luft von der Sonde in den Gasbeutel erfolgt über eine Gasansaugpumpe, die während der Einatemphase eingeschaltet ist und während der Ausatemphase ausgeschaltet ist, wobei ein Absperrventil verhindert, dass Ausatemluft in den Gasbeutel gelangt. Die Gasansaugpumpe und das Absperrventil werden händisch im Takt der eigenen Atmung von der Person betätigt, die die jeweilige Prüfung durchführt. Der Inhalt des Gasbeutels wird in der Folge analysiert.



Bild 1



Bild 2



Bild 3



Bild 4

Luftansaugleitung:

- Ein Silikonschlauch mit einem Innendurchmesser von 4mm, der den Kopf zwischen Mund, Nase und Genick umschließt und im Teil zwischen Mund und Nase Löcher aufweist.
- Eine Gasansaugpumpe in PTFE, die auf einer Ansaugleistung von 1,4 L/min eingestellt ist.
- Ein Absperrventil, das die Luft während der Ausatemphase aus dem Eingang der Gasansaugpumpe aussperrt.
- Eine Aktivierungs- und Deaktivierungseinheit (Gaspumpe und Absperrventil), die von der Person bedient wird, welche die Prüfung durchführt:

1. Einatmung: Gasansaugpumpe ist eingeschaltet und Absperrventil ist geöffnet.
2. Ausatmung: Gasansaugpumpe ist ausgeschaltet und Absperrventil ist geschlossen.

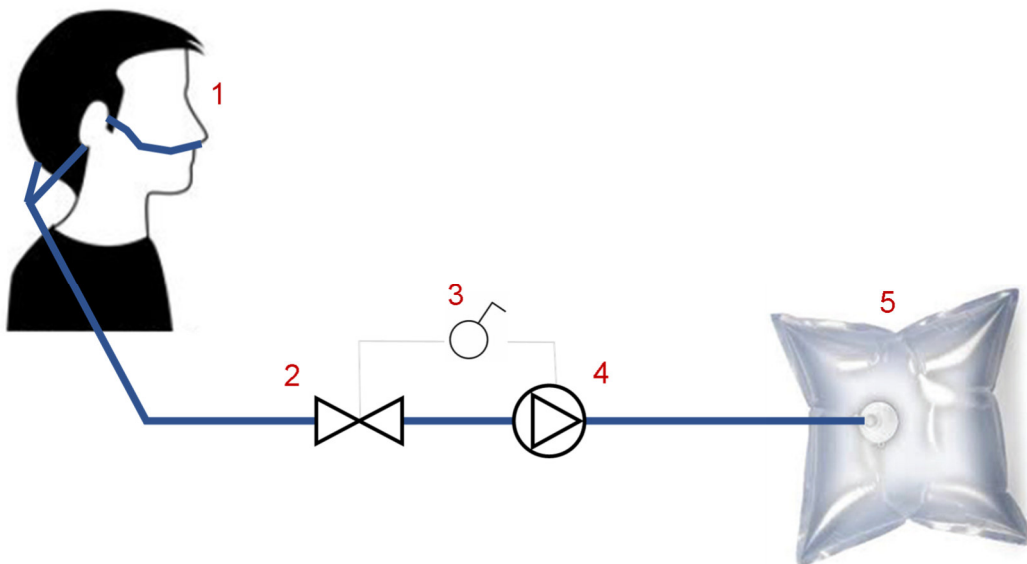


Bild 5. Luftansaugleitung

Das Schema der Luftansaugleitung wird in Bild 5 dargestellt:

- 1 Silikonschlauch der den Kopf zwischen Mund, Nase umschließt
- 2 Absperrventil
- 3 Manuelle Aktivierungs- und Deaktivierungseinheit
- 4 Gasansaugpumpe
- 5 Tedlar-Gasbeutel

Bemerkungen:

- Der Durchfluss wurde bewusst niedrig gehalten (1,4 L/min) um die, während der Einatemzüge im Bereich Mund - Nase und Schutzvorrichtung vorherrschenden Druckverhältnisse, nicht zu stören
- Um die Einatemluft und die Ausatemluft zu sammeln wurden getrennte Tedlar-Gasbeutel zu 5L und zu 10L verwendet.



- *Um die verschiedenen Bestandteile der Probenahmelinie zu verbinden, wurden Schläuche in PTFE und in Silikon verwendet.*
- *Das interne Volumen der Schläuche von der Sonde bis zum Absperrventil betrug ca. 0,025L.*
- *Die Dauer eines Einatmungszuges schwankte von 4 bis 15 Sekunden.*
- *Die Luftvolumen eines einzelnen Einatmungszuges schwankten zwischen 0,8L und 2,5L.*
- *Die Dauer des Einatmungszuges und die gesammelte Luftmenge korrelieren nicht, d.h. ein kurzer Einatmungszug bedeutet nicht automatisch auch eine kleine Luftmenge, weil eine Person für eine kürzere Zeit aber mit größerer Energie einatmen kann.*
- *Das Luftvolumen, das während des einzelnen Einatmungszuges gesammelt wurde, war abhängig von der Öffnungszeit des Absperrventiles und variierte zwischen 0,09L und 0,35L.*
- *Die Durchflusszeit der Einatmungsluft von der Sonde bis zum Absperrventil war kürzer als 1 Sekunde.*

Die Prüfungen wurden mit folgenden Typen von Schutzvorrichtungen durchgeführt:

1. Maske FFP2/KN95
2. Chirurgische Maske
3. Selbstgenähter MNS
4. Gesichtsschutzvisier
5. Schlauchtuch

Benützungsbedingungen der untersuchten Schutzvorrichtungen:

Vorbereitende Prüfungen

1. Sitzend ohne Schutzvorrichtung
2. Sitzend ohne Schutzvorrichtung bei Luftgeschwindigkeiten in der Nähe des Gesichtsfeldes von 0,5-1,0 m/s (simuliert Wind oder Bewegung)
3. Sitzend mit Schutzvorrichtung bei Luftgeschwindigkeiten in der Nähe des Gesichtsfeldes von 0,5-1,0 m/s (simuliert Wind oder Bewegung)

Prüfungen

1. Sitzend mit Schutzvorrichtung
2. Bei leichter körperlicher Betätigung und getragener Schutzvorrichtung (Stepper)^a.

^a *Die Auswahl fiel auf den Stepper, weil man eine leichte körperliche Betätigung simulieren wollte, die für alle Personen, die am Test teilnahmen, gleich ist. Die Prüfung sah vor, dass man mit einem gemächlichen Rhythmus die Treppenstufe hochstieg und wieder abstieg.*

5.3 Ausatemluft

Die Ausatemluft wurde in einem Tedlar-Gasbeutel gesammelt, wobei die Person in eine luftdichte Gesichtsmaske atmete, die über einen Silikonschlauch mit dem Tedlar-Gasbeutel verbunden war. Der Inhalt des Gasbeutels wurde in der Folge untersucht, wobei der Sauerstoffgehalt und der Kohlendioxidgehalt bestimmt wurden.

5.4 Thermografische Untersuchung

Mit einer Thermobildkamera wurden vor dem Beginn und nach Beendigung der Prüfung die Temperaturen auf der Gesichtsoberfläche gemessen (mit und ohne Schutzvorrichtung). Die Änderung der Temperatur auf der Gesichtsoberfläche ist ein Indikator für die Unbehaglichkeit der Person.

5.5 Subjektive Untersuchungen

Den Personen, die die Prüfungen absolvierten, wurden kurze Fragebögen ausgeteilt (in den Tabellen und Diagrammen Test 1...n genannt), um ihre Eindrücke und Empfindungen zu dokumentieren.

5.6 Analysen an den Schutzvorrichtungen

Die Schutzvorrichtungen wurden untersucht, um festzustellen welche Schadstoffe sie ausgasen, wie zum Beispiel Formaldehyd und flüchtige organische Verbindungen.

5.7 Messgeräte

In der Tabelle sind die Messgeräte beschrieben, die für die Analysen verwendet wurden.

Parameter	Messtechnik	Instrument
O ₂	Paramagnetisch	HORIBA PG250
CO ₂	Infrarot, nicht dispersiv	
TVOC	Fotoionisation	ION TIGER
VOC	Gaschromatographie	HP 5973
Oberflächentemperaturen	Infrarot	FLIR E6

6. RESULTATE

Die Prüfungen wurden im Zeitraum von Juni bis August 2020 in der Bibliothek der Laboratorien durchgeführt. Während der Messungen blieben die Fenster geöffnet um die CO₂ Konzentration konstant bei ungefähr 450 ppm zu halten. Die CO₂ Konzentration, die Lufttemperatur, die Luftfeuchte und die Luftgeschwindigkeit wurden durchgehend überwacht.

8 erwachsene Personen mit unterschiedlichem Alter, unterschiedlichem Geschlecht, unterschiedlicher Fitness und unterschiedlichem Atemvolumen wurden ausgewählt. Jede dieser Personen hat die Prüfungen 3 Mal wiederholt und zwar für jede unterschiedliche Schutzvorrichtung bei den zwei unterschiedlichen Nutzungsbedingungen. Insgesamt sind 350 Prüfungen mit getragener Schutzvorrichtung durchgeführt worden und 105 Thermographien.

6.1 Atemzüge, Volumen, und Zusammensetzung der Ausatemluft

In der Tabelle 1 sind die Werte für die Häufigkeit der Atemzüge, die Atemvolumen und die Zusammensetzung der Ausatemluft der acht Personen wiedergegeben. In der Tabelle 2 sind Minimum, Maximum und Mittelwerte der acht Messungen der Tabelle 1 wiedergegeben. Dieselben Ergebnisse wurden in den Grafiken unter Bild 5 wiedergegeben, wobei eine Veränderlichkeit der Werte hervorsticht, die von subjektiven Gewohnheiten und von einer sehr persönlichen Atemweise der einzelnen Personen herrührt.

Tabelle 1. Frequenz der Atemzüge, Luftvolumen und Zusammensetzung der Ausatemluft für jede Person (Test n)

		Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8
Atemfrequenz	Nr/Min	16,7	6,0	3,3	9,3	5,3	10,8	7,0	11,3
Luftvolumen der Ausatemluft pro Minute	L	20,5	7,6	4,9	7,5	8,3	17,1	18,3	8,9
Luftvolumen der Ausatemluft pro Atemzug	L	1,2	1,3	1,4	0,8	1,6	1,6	2,6	0,8
O ₂	Vol%	16,1	16,6	17,4	18,2	15,5	18,4	18,7	17,6
CO ₂	ppm	43000	43000	38000	34000	48400	32000	27600	39200

Tabelle 2. Sauerstoff und CO₂ Konzentration der Ausatemluft

Ausatemluft		Minimum	Mittelwert	Maximum
O ₂	Vol%	15,5	17,3	18,7
CO ₂	ppm	27600	38130	48400

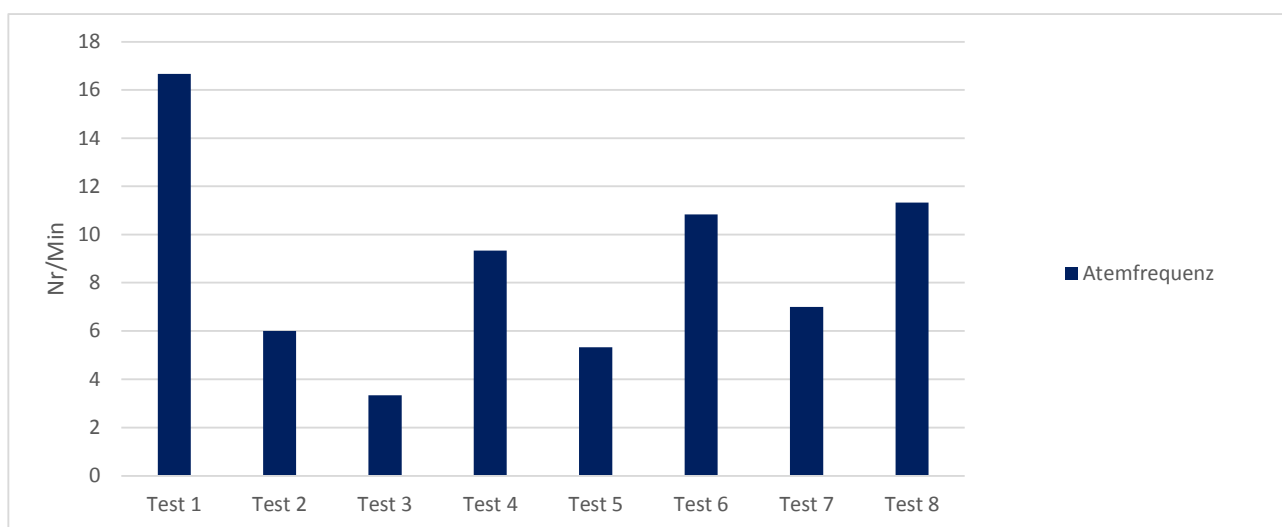
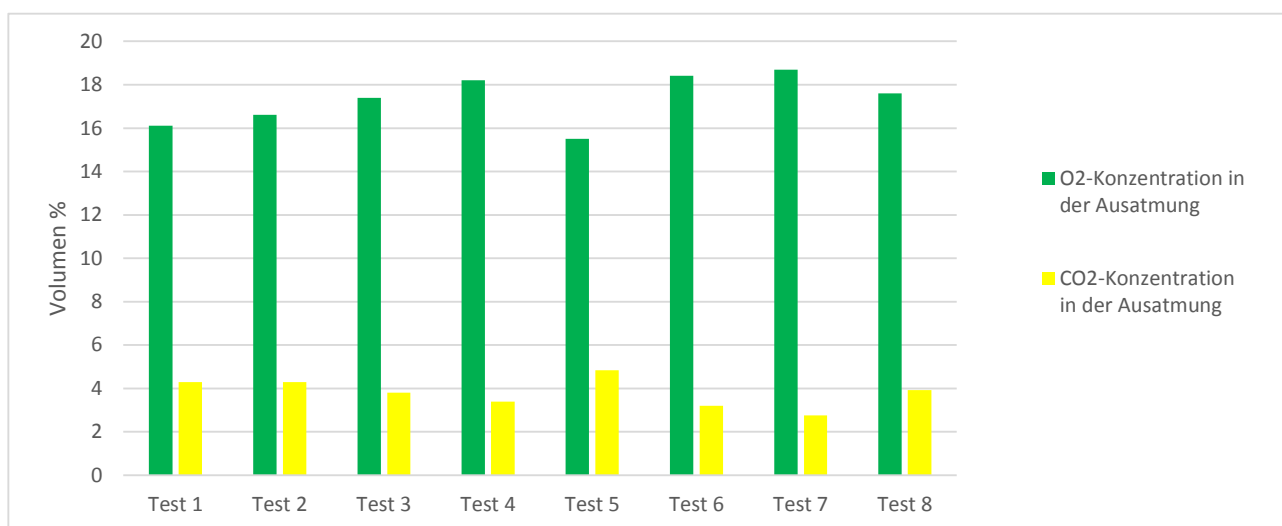
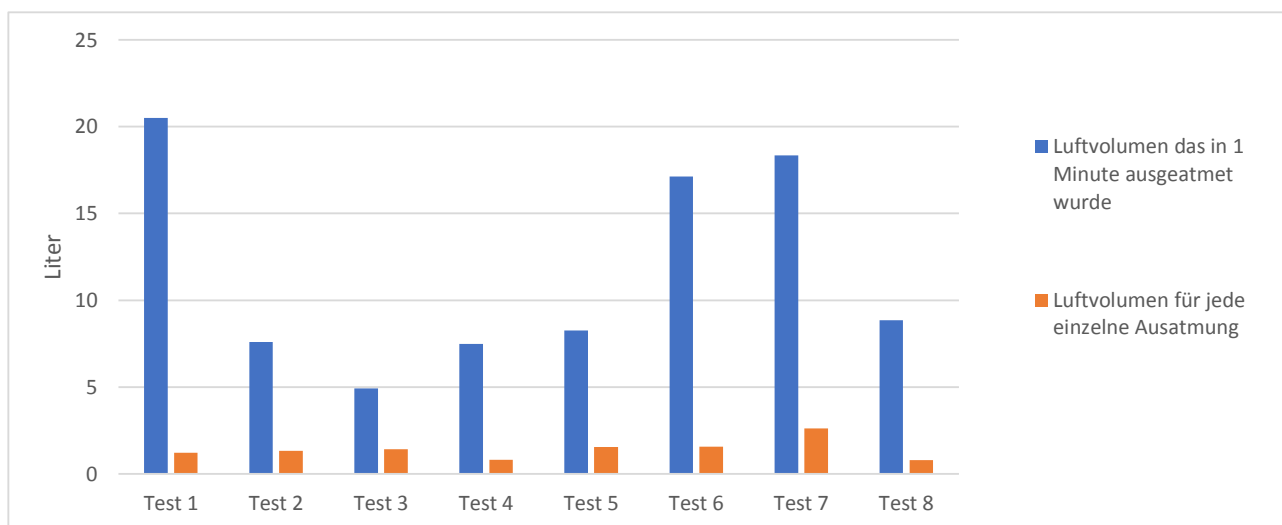


Bild 6

In Bild 7 ist die gemessene CO₂ Konzentration der Ausatemluft der 8 Test-Personen veranschaulicht.

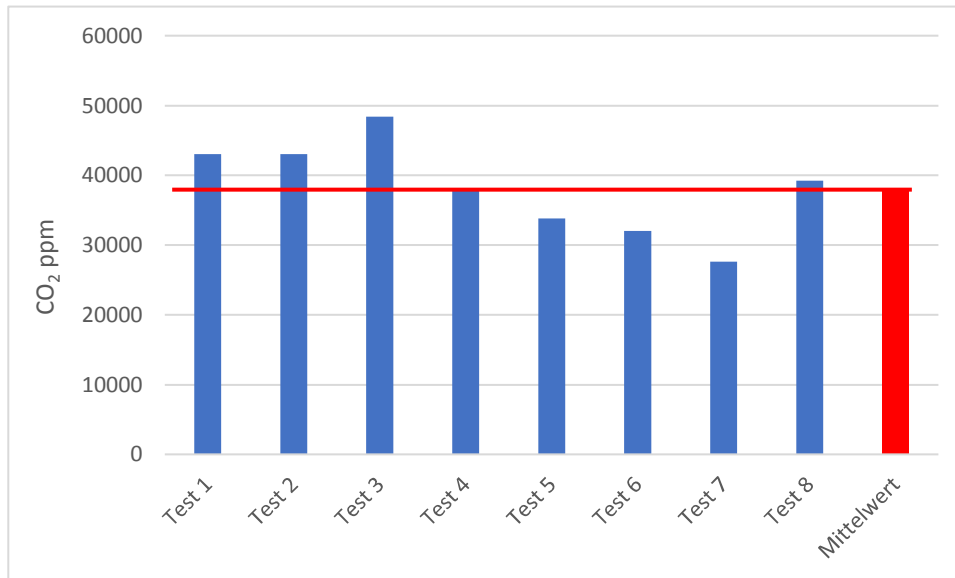


Bild 7. Ausgeatmetes CO₂ in ppm

Bemerkungen:

Während der Prüfungen bei den zwei unterschiedlichen Nutzungsarten der Schutzvorrichtungen durfte die Person mit ihrer natürlichen Atemfrequenz atmen. Wir haben aber trotzdem beobachtet, dass es Variablen gibt, die die Messergebnisse stark beeinflussen. Wir haben aber bewusst darauf verzichtet Korrekturen vorzunehmen, um Bedingungen zu haben, die so weit wie nur möglich, den realen Nutzungsbedingungen der Schutzvorrichtungen entsprechen:

- Atemfrequenz
- Kopfneigung
- Haftung der Schutzvorrichtung am Gesicht
- Luftgeschwindigkeit im Nasen-Mundbereich, auch mit getragener Schutzvorrichtung.

Die Auswirkungen und das Vorhandensein dieser Elemente, die schwierig zu kontrollieren sind, haben es ermöglicht ein breites Variabilitätsspektrum der realen Situationen zu haben.

6.2 Einfluss der Luftgeschwindigkeit

Die Prüfung wurde unter zwei Bedingungen durchgeführt:

1. Sitzend bei stehender Luft
2. Sitzend mit bewegter Luft mit Geschwindigkeiten auf dem Gesicht von 0,5 – 1,0 m/s (Bild 3).

Es konnte beobachtet werden, dass ohne und mit getragener Schutzvorrichtung, bei einer leichten Luftbewegung (0,5-1,0 m/s entspricht einem langsamen Gehen und eine Luftgeschwindigkeit von 10m/s wurde eingestellt wenn ein Motorradhelm getragen wurde), die gemessenen CO₂ Konzentrationen deutlich niedriger ausfielen als bei stehender Luft.

Die Prüfungen, die mit der Puppe (Bild 8 und Bild 9) durchgeführt wurden, erklären die Gründe für diese unterschiedlichen Werte. Bei stehender Luft wirbelt die ausgeatmete Luft

wieder zum Gesicht zurück und wird teilweise wieder eingeatmet. Bei bewegter Luft wird die Ausatemluft schneller vom Gesicht entfernt und dies auch bei getragener Schutzvorrichtung.

Um ein weiteres Beispiel für die Rolle der Luftgeschwindigkeit auf die Schutzvorrichtung zu haben, wurde eine Probe auch mit einem Motorradvollhelm durchgeführt.



Bild 8. Ausatmung Puppe, stehende Luft.



Bild 9. Einatmung Puppe, stehende Luft.

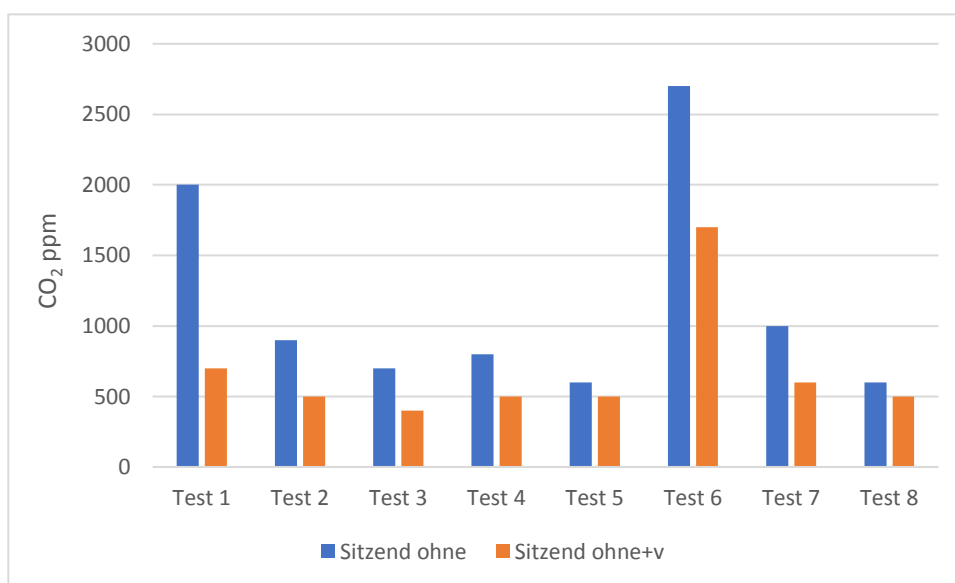


Bild 10. Einfluss der Luftgeschwindigkeit (ohne Schutzvorrichtung)

In Bild 10 ist die CO₂ Konzentration der Einatemluft ohne Schutzvorrichtung sitzend und bei stehender Luft (in blau) wiedergegeben und sitzend bei bewegter Luft bei einer Luftgeschwindigkeit von 0,5 bis 1,0 m/s (in der Grafik orangefarben) wiedergegeben. Test 1-8 sind die 8 Personen, die für die Prüfung ausgewählt wurden.

Die Variabilität der Daten ist abhängig von der unterschiedlichen Art und Weise der Atmung der Personen, die unter gleichen Prüfbedingungen unterschiedlich einatmen und ausatmen. Die Konzentrationen bei bewegter Luft sind für alle 8 Personen niedriger ausgefallen als bei stehender Luft.

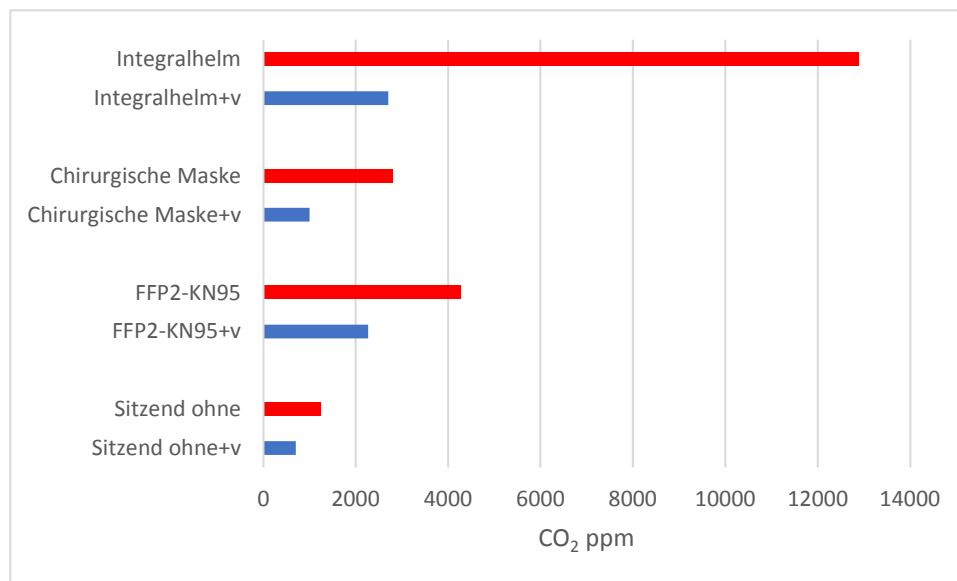


Bild 11. Einfluss der Luftgeschwindigkeit (mit Schutzvorrichtung)

In Bild 11 ist die CO₂ Konzentration in der Einatemluft bei getragener Schutzvorrichtung wiedergegeben: in rot bei stehender Luft und in blau bei bewegter Luft zwischen 0,5 e 1,0 m/s (bei 10 m/s als Mittelwert bei getragenen Motorradvollhelm). Analog zu den Prüfungen ohne getragene Schutzvorrichtung sind die Konzentrationen bei bewegter Luft niedriger als bei stehender Luft.

6.3 Messungen mit und ohne Schutzvorrichtung

In der Folge sind die Ergebnisse der Prüfungen mit getragener Schutzvorrichtung wiedergegeben, wobei die CO₂ Konzentration, die man im Freien findet (450 ppm), abgezogen wurde. In jeder Grafik sind Minimum, Mittelwert und Maximum der Serie der durchgeführten Messungen wiedergegeben.

Diagramm sitzend und am Stepper

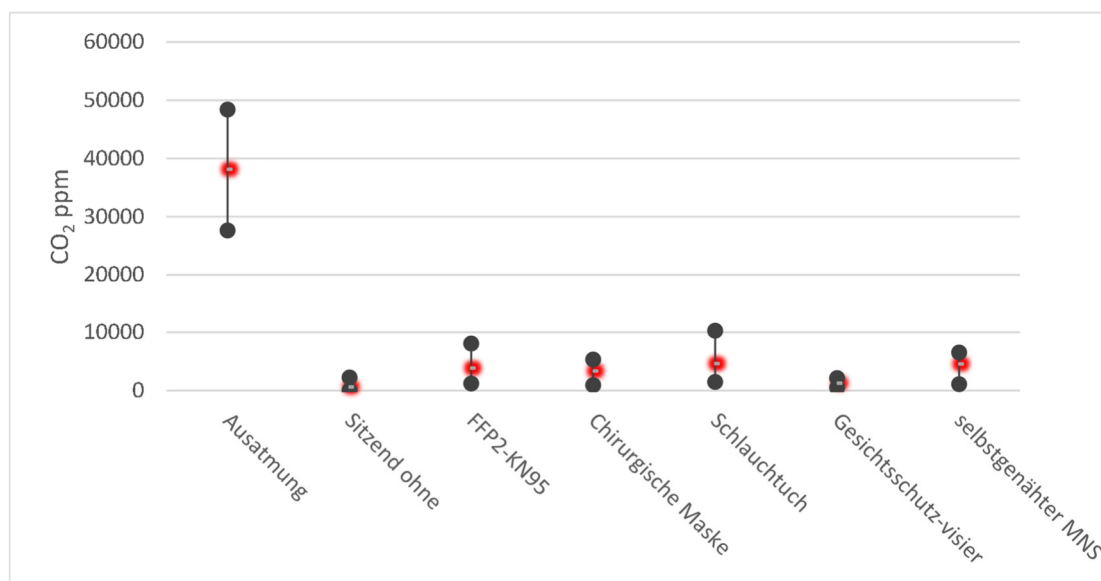


Bild 12. Sitzend – ppm eingeatmetes CO₂ (abgezogen CO₂ Hintergrundbelastung)

In Bild 12 sind die Ergebnisse in sitzender Position wiedergegeben. Von der CO₂ Konzentration in ppm in der Einatemluft wurde die CO₂ Konzentration der Raumluft während der Prüfungen abgezogen.

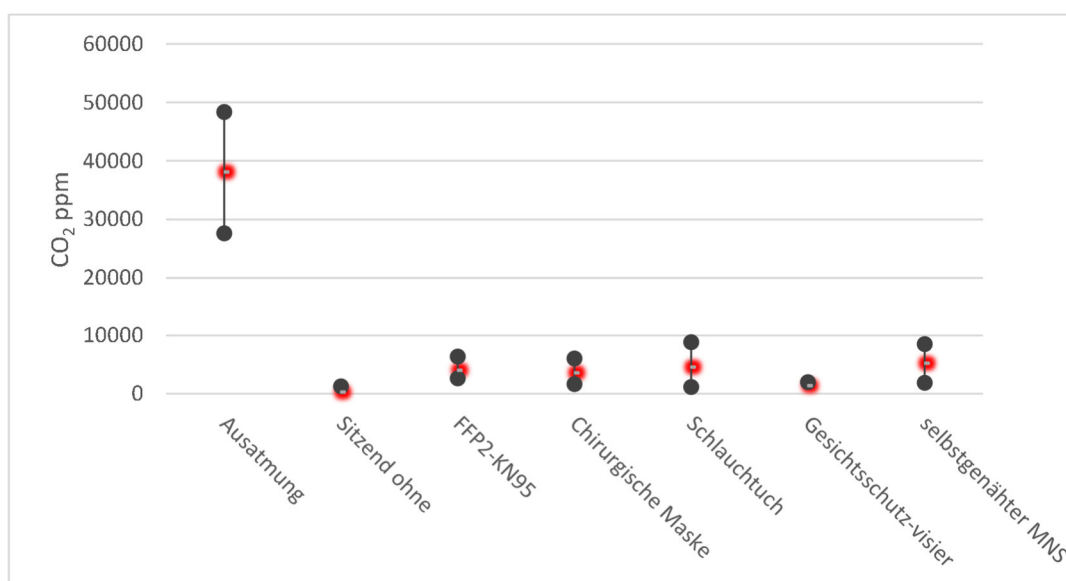


Bild 13. Stepper – ppm eingeatmetes CO₂ (abgezogen CO₂ Hintergrundbelastung)

In Bild 13 sind die Ergebnisse auf dem Stepper wiedergegeben. Von der CO₂ Konzentration in ppm in der Einatemluft wurde die CO₂ Konzentration der Raumluft während der Prüfungen abgezogen.

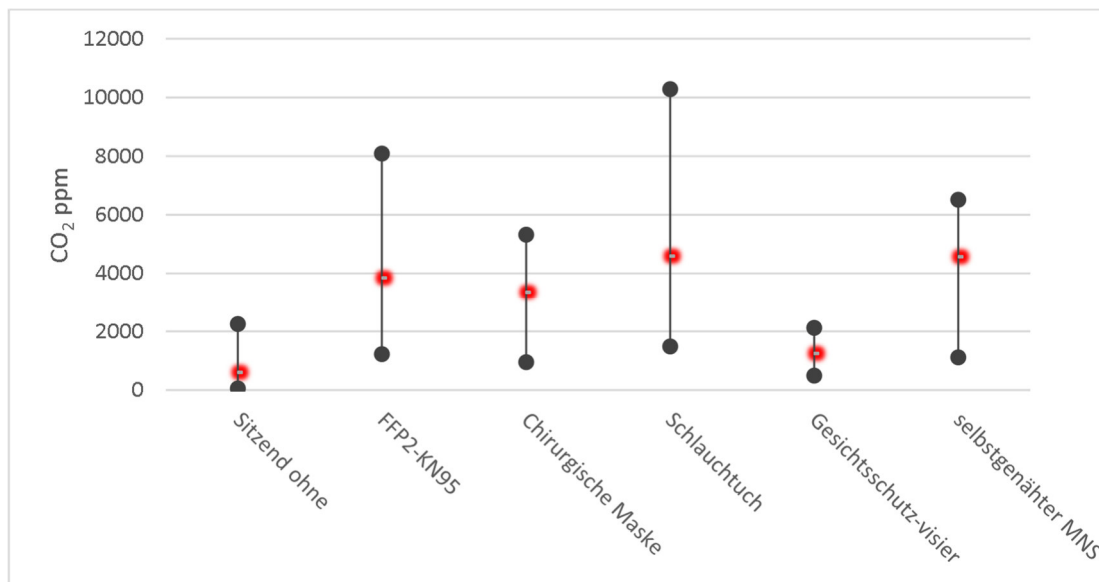


Bild 14. Sitzend – ppm eingeatmetes CO₂ (abgezogen CO₂ Hintergrundbelastung)

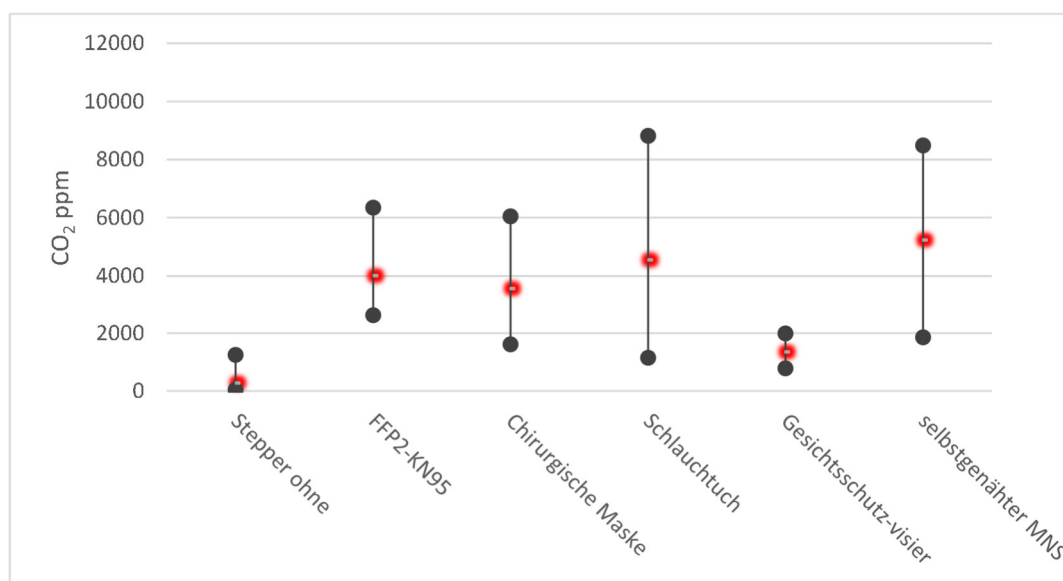


Bild 15. Stepper – ppm eingeatmetes CO₂ (abgezogen CO₂ Hintergrundbelastung)

In den Bildern 14 und 15 sind dieselben Datensätze wiedergegeben wie in den Bildern 12 und 13 wobei die Konzentrationen der Ausatemluft ausgesondert wurden.

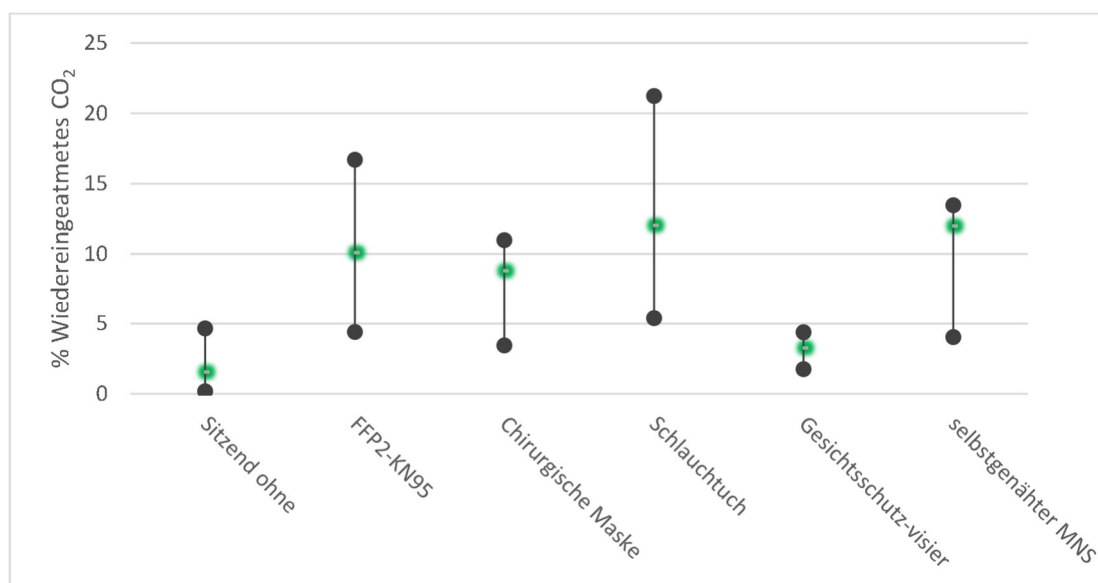


Bild 16. Sitzend – % wiedereingeatmetes CO₂ (abgezogen CO₂ Hintergrundbelastung)

In Bild 16 ist das Verhältnis in Prozent wiedergegeben zwischen dem eingeatmeten CO₂ und dem ausgeatmeten CO₂ in sitzender Position. Es handelt sich dabei um das wiedereingeatmete CO₂.

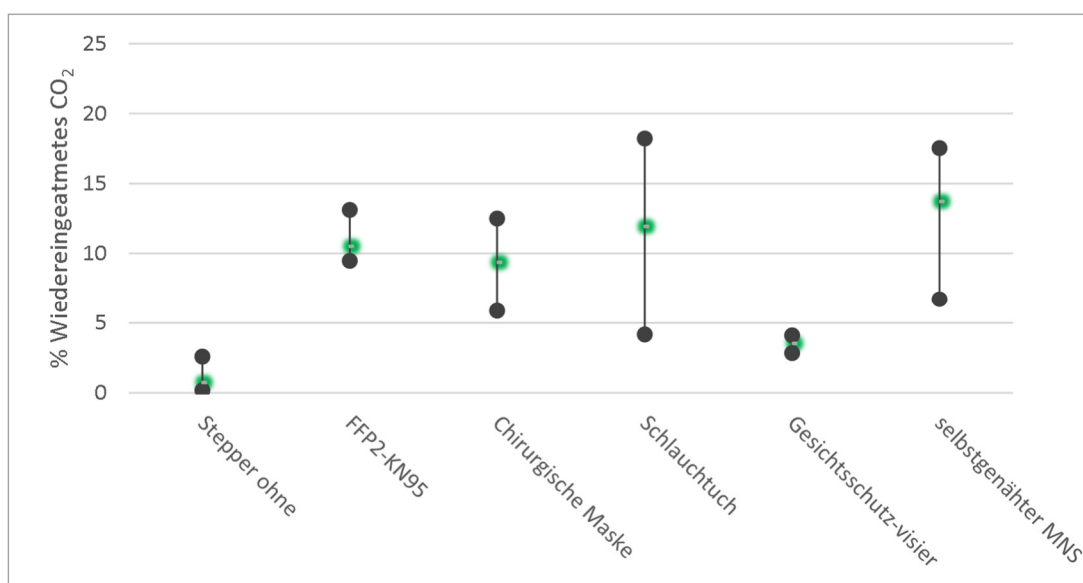


Bild 17. Stepper – % wiedereingeatmetes CO₂ (abgezogen CO₂ Hintergrundbelastung)

In Bild 17 ist das Verhältnis in Prozent wiedergegeben zwischen dem eingeatmeten CO₂ und dem ausgeatmeten CO₂ bei körperlicher Tätigkeit auf dem Stepper. Es handelt sich dabei um das wiedereingeatmete CO₂.

Tabelle 3. Eingeatmete CO₂ Konzentration unter Abzug des CO₂-Gehaltes des Raumes

			Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Mittel
sitzend	ohne	CO ₂ ppm	700	450	250	350	150	2250	550	50	590
	FFP2-KN95	CO ₂ ppm	4140	2520	2450	1220	2380	8080	5350	4650	3850
	chirurgische Maske	CO ₂ ppm	3760	980	2320	950	4020	4880	4580	5320	3350
	Schlauchtuch	CO ₂ ppm	5730	3320	4920	3080	2080	5800	10280	1480	4590
	Gesichtsschutz-visier	CO ₂ ppm	1310	480	2120	480	1620	950	1450	1520	1240
	selbstgenährter MNS	CO ₂ ppm	4830	1180	5920	1120	4850	5850	6520	6280	4570
Stepper	ohne	CO ₂ ppm	280	50	50	350	50	1250	150	50	280
	FFP2-KN95	CO ₂ ppm	4890	2620	3780	3050	2750	3380	6350	5250	4010
	chirurgische Maske	CO ₂ ppm	4820	1620	3520	1620	2850	3220	6050	4850	3570
	Schlauchtuch	CO ₂ ppm	6140	3350	3920	3850	1150	6140	8820	3020	4550
	Gesichtsschutz-visier	CO ₂ ppm	1360	780	1050	780	1620	1720	1980	1450	1340
	selbstgenährter MNS	CO ₂ ppm	6130	1850	4650	3850	3580	6150	8480	7150	5230

Tabelle 4. Prozentsatz an wiedereingeatmetem CO₂ im Vergleich zum ausgeatmeten CO₂

		Minimum	Mittel	Maximum
sitzend	ohne	0,2%	1,6%	4,6%
	FFP2-KN95	4,4%	10,1%	16,7%
	chirurgische Maske	3,4%	8,8%	11,0%
	Schlauchtuch	5,4%	12,0%	21,2%
	Gesichtsschutz-visier	1,8%	3,3%	4,4%
	selbstgenährter MNS	4,0%	12,0%	13,5%
Stepper		Minimum	Mittel	Maximum
	ohne	0,2%	0,7%	2,6%
	FFP2-KN95	9,5%	10,5%	13,1%
	chirurgische Maske	5,9%	9,4%	12,5%
	Schlauchtuch	4,2%	11,9%	18,2%
	Gesichtsschutz-visier	2,8%	3,5%	4,1%
	selbstgenährter MNS	6,7%	13,7%	17,5%

Die Prozente, die in der Tabelle 4 wiedergegeben sind, stellen den wiedereingeatmeten Anteil in Vergleich zum ausgeatmeten Anteil dar. Für die Atemschutzmasken FFP2-KN95, z. B., ist als Mittelwert ein Anteil an wiedereingeatmetem CO₂ von 10,1%, bei sitzender Tätigkeit, und von 10,5%, bei körperlicher Betätigung auf dem Stepper, ermittelt worden.

Vergleich der Schutzvorrichtungen sitzend und am Stepper

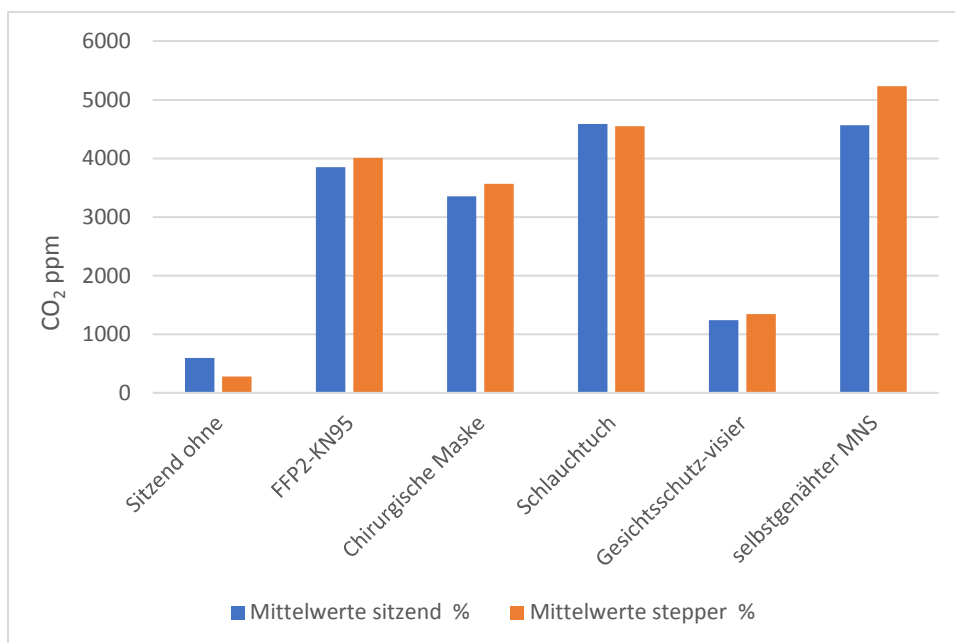


Bild 18. ppm Eingeatmetes CO₂ - Mittelwerte

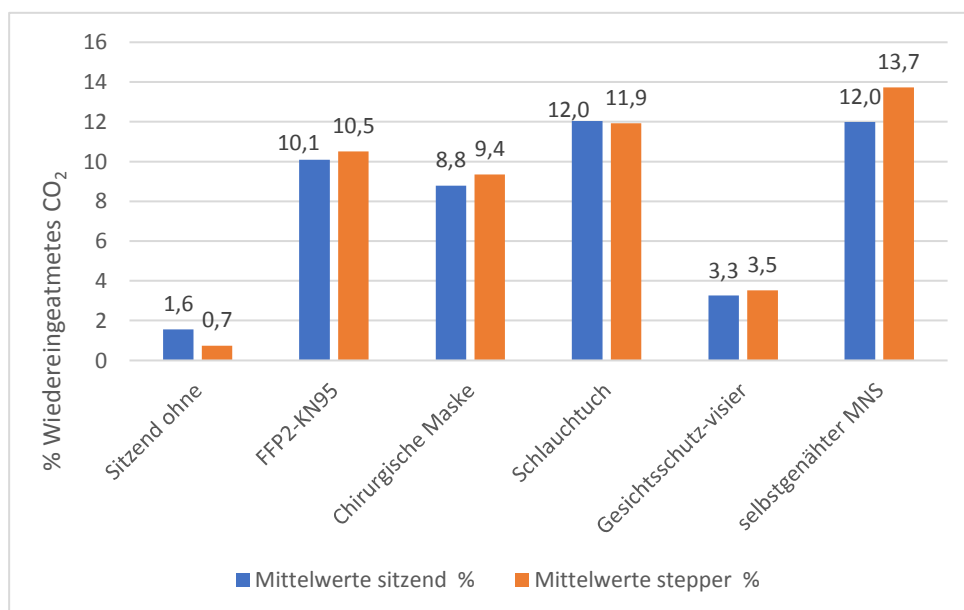


Bild 19. % Wiedereingeatmetes CO₂ - Mittelwerte

In Bild 18 und in Bild 19 sind die Mittelwerte der eingeatmeten CO₂ Konzentration und der wiedereingeatmeten CO₂ wiedergegeben, für die unterschiedlichen untersuchten Schutzvorrichtungen, für die Prüfungen bei sitzender Tätigkeit und bei körperlicher Betätigung mit dem Stepper.

In Tabelle 5 und 6 werden zum Vergleich die CO₂ Konzentrationen wiedergegeben, die man im Alltag antreffen kann, und die dazugehörigen Richtwerte.

Tabelle 5. CO₂ Konzentrationen im Vergleich: Richtwerte (erste Zeile) und typische Konzentrationen (Quelle: Landesagentur für Umwelt und Klimaschutz, Bozen)

Richtwerte für Lebens- und Aufenthaltsräume	CO ₂ ppm	1000
Klassenzimmer	CO ₂ ppm	800-6000
Einzel-Schlafzimmer bei geschlossener Türe und Fenster	CO ₂ ppm	800-3000
Pendlerzug	CO ₂ ppm	1500-2500
Autobus	CO ₂ ppm	1000-2000
PkW nur mit Fahrer	CO ₂ ppm	1000
Pizzeria-Restaurant	CO ₂ ppm	800-2000

Tabelle 6. Werte für die indoor CO₂-Konzentration der Ad-hoc AG IRK/AOLG, 2008 Arbeitsgruppe

CO ₂ Konzentration (ppm)	Hygienische Bewertung	Empfehlung
< 1000	Hygienisch unbedenklich	• Keine weiteren Maßnahmen
1000-2000	Hygienisch auffällig	<ul style="list-style-type: none"> • Lüftungsmaßnahmen intensivieren (Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel erhöhen) • Lüftungsverhalten überprüfen und verbessern
>2000	Hygienisch inakzeptabel	<ul style="list-style-type: none"> • Belüftbarkeit des Raumes prüfen • Ggf. Weitgehende Maßnahmen prüfen

Bemerkung: in verschiedenen ISO-EN Normen sind Bezugswerte für das CO₂ im Lebens- und Aufenthaltsraum wiedergegeben. Die Norm UNI EN 16798-1 und die Norm ISO 17772-1 sind speziell für die Planung von Be- und Entlüftungsanlagen geschrieben worden und werden bei öffentlichen Bauten eingesetzt. Wir beziehen uns in dieser Studie auf die verständlicheren Richtwerte der Arbeitsgruppe "Ad-hoc AG IRK/AOLG, 2008" des Umweltbundesamtes aus Deutschland, auch weil sie jenen der ISO-EN Normen ähneln.

Kommentare zu den Messungen

Aus den Prüfungen, die durchgeführt wurden, hat sich herauskristallisiert, dass sich der Anteil der wiedereingeatmeten Luft merklich ändert, je nachdem welche Schutzvorrichtung verwendet wird, um den Mund und die Nase zu bedecken. Die höchsten Werte wurden bei der Verwendung von FFP2/KN95, Schlauchtuch und selbstgenähter MNS gefunden. Leicht darunter liegen die Werte bei den chirurgischen Masken, während bei dem Gesichtsschutzvisier die wiedereingeatmeten CO₂ Konzentrationen wenig über jenen liegen, die gemessen werden, wenn keine Schutzvorrichtung getragen wurde.



Die Unterschiede zwischen den Minimalwerten und den Maximalwerten sind auf die unterschiedliche Atemfrequenz der Personen zurückzuführen, auf die Kopfneigung, auf die Haftung der abdeckenden Schutzvorrichtung am Gesicht und auf die Luftgeschwindigkeit im Mund-Nasenbereich.

Es bestehen keine wesentlichen Unterschiede bei den beiden Nutzungsbedingungen, sitzend oder am Stepper, weil die größere CO₂ Produktion der Person bei körperlicher Belastung dadurch kompensiert wird, dass die verbrauchte Luft mit mehr Energie ausgeatmet wird und dass durch das Aufsteigen und Absteigen am Stepper eine größere Luftgeschwindigkeit herrscht. Unter großer körperlicher Belastung ändern sich die Art und Weise der Atmung sicher, aber dies war nicht Gegenstand dieser Forschung.

Der Prozentsatz des wiedereingeatmeten CO₂ in Bezug auf das ausgeatmete CO₂ schwankte von 3,3% das mit dem Tragen des Gesichtsschutzvisieres erreicht wurde bis zu 13%, das mit dem Tragen des selbstgenähten MNS (Bild 19) erreicht wurde.

Die übrige Luft, die eingeatmet wird, stammt klarerweise aus dem Raum, in dem man sich befindet. Die Messungen erfolgten in einem Raum mit einer niedrigen CO₂ Konzentration (annähernd 450 ppm), die dem gemessenen CO₂ in der Einatemluft abgezogen wurden. In einer realen Situation muss man der wiedereingeatmeten Konzentration auch die Raumluftkonzentration addieren, die oft viel höher als 450 ppm sein kann.

Es wurde weiters beobachtet, dass in der sitzenden Position, bei stehender Luft und ohne Schutzvorrichtung, der CO₂ Anteil in der wiedereingeatmeten Luft der Testpersonen bereits bei 1,6% lag. Bei leichter körperlicher Betätigung am Stepper und bei bewegter Luft sank der Wert auf 0,7%.

Die CO₂ Konzentration in der eingeatmeten Luft schwankte von einem Minimum von 1.240 ppm, gemessen mit getragenen Gesichtsschutzvisier, bis zu einem Maximum von 5.230 ppm, gemessen mit getragenen selbstgenähten MNS.

An dieser Stelle erinnern wir uns an die Aussagen des Umweltbundesamtes aus Deutschland (Ad-hoc AG IRK/AOLG, 2008): bei CO₂ Konzentrationen in Lebens- und Aufenthaltsräumen zwischen 1.000 ppm und 2.000 ppm müssen die Luftwechsel in den Lebens- und Aufenthaltsräumen erhöht werden. Über 2.000 ppm CO₂ ist die Luft hygienisch inakzeptabel und weitgehende Maßnahmen müssen geprüft werden, sprich Verbesserungen durchgeführt werden.

Vergleicht man die Richtwerte des IRK mit den Ergebnissen der Überprüfungen so stellt man fest, dass nur beim Tragen des Gesichtsschutzvisieres die CO₂ Konzentrationen unter 2.000 ppm bleiben, während beim Tragen aller übrigen Schutzvorrichtungen (FFP2/KN95, Schlauchtuch, selbstgenähte MNS und chirurgische Maske) die eingeatmete Luft hygienisch inakzeptabel wäre.

Betrachtet man die Tabelle 5, so sieht man, dass in verschiedenen Bereichen des täglichen Lebens, in indoor-Bereichen, der Konzentrationswert von 1.000 ppm CO₂ über lange Zeiträume überschritten wird.

Besonders, im Inneren der Unterrichtsräume der Schulen, wo sich Studierende und Unterrichtende über einen beträchtlichen Teil des Tages aufhalten, ist die Konzentration von 1.000 ppm regelmäßig überschritten, wobei auch Konzentration über 5.000 ppm CO₂ erreicht werden.

Die erhaltenen Ergebnisse beweisen und unterstreichen, dass die Räumlichkeiten, in den die Vorschrift herrscht Schutzvorrichtungen zu tragen, optimale Lüftungsmöglichkeiten haben müssen, d.h. dass die CO₂ Konzentration immer unter 1.000 liegen sollte.

Es handelt sich hierbei um eine Anforderung, die auch ohne Schutzvorrichtung erfüllt werden sollte, aber die mit Schutzvorrichtung umso wichtiger wird.

6.4 Analyse der Oberflächentemperaturen des Gesichtes

Die Ergebnisse der Oberflächentemperaturmessungen mit Infrarotkamera sind in Bild 20 - 22 dargestellt.

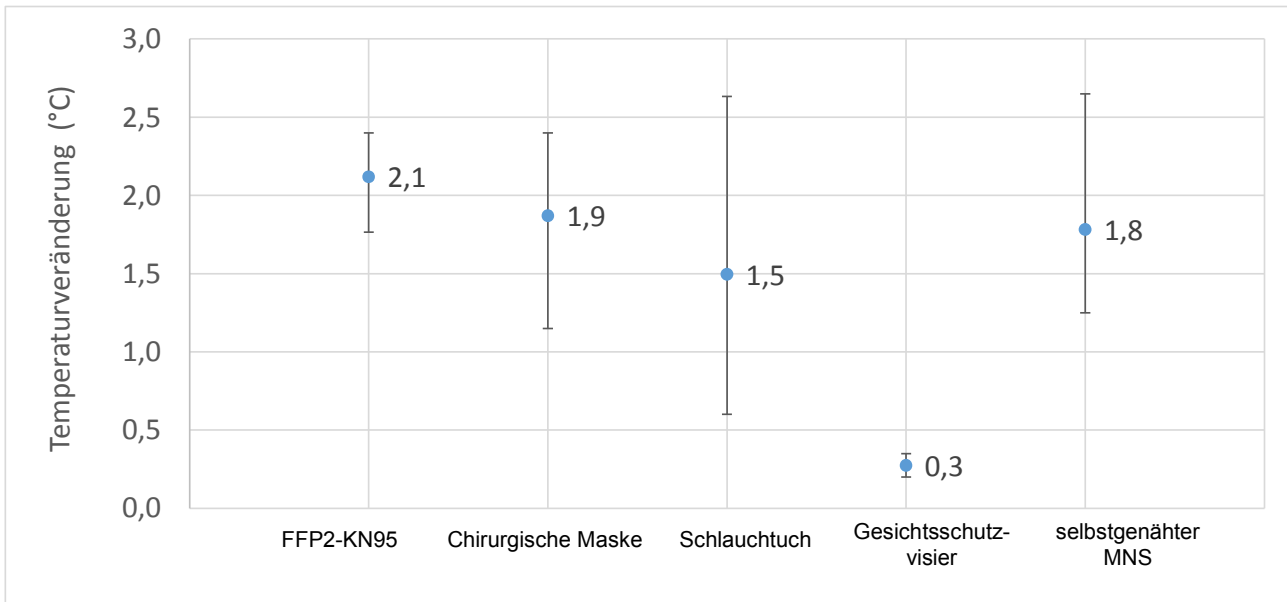


Bild 20. Veränderung der Oberflächentemperatur im Gesicht



Bild 21

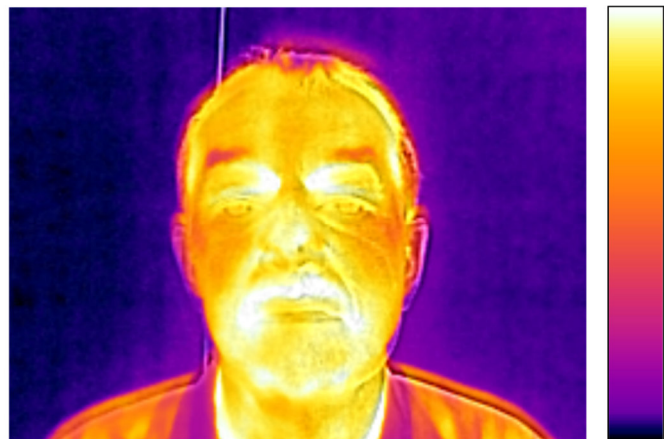


Bild 22

In Bild 20 sind für jede getragene Schutzvorrichtung die Minimumwerte, die Mittelwerte (in blau) und die Maximalwerte (Enden der Balken in schwarz) der Temperaturveränderungen wiedergegeben. Die Messungen wurden bei den Prüfungen in sitzender Position und in stehender Position am Stepper durchgeführt und dann über alle 8 geprüften Personen gemittelt.

Die zwei Thermographien wurden beide ohne Schutzvorrichtung aufgenommen, in Bild 21 vor dem Tragen und in Bild 22 nach dem Tragen der Schutzvorrichtung. Je heller desto

höher ist die Oberflächentemperatur. Aus Bild 22 wird klar, dass der von der Schutzvorrichtung bedeckte Gesichtsteil, erwärmt wurde.

Aus den thermographischen Analysen (Bild 20 und Bild 21) ist ersichtlich, dass die Hautoberflächentemperatur im Gesicht, in den Bereichen, die von der Schutzvorrichtung bedeckt werden um 1,5-2,1°C höher ist als im verbleibenden nicht von der Schutzvorrichtung bedeckten Gesicht. Diese Temperaturdifferenz liegt beim Tragen des Gesichtsschutzvisieres tiefer, bei nur 0,3°C. Beim Tragen des Schlauchtuches betrifft die Temperaturerhöhung nicht nur den Mund-Nasen-Bereich, sondern den ganzen Bereich, der vom Schlauchtuch abgedeckt wird. Der Temperaturunterschied bewirkt ein leichtes Schwitzen. Die Temperaturerhöhung und das Schwitzen werden von der Person, die die Schutzvorrichtung trägt, sofort als Unbehagen wahrgenommen.

Mit Zunahme der körperlichen Anstrengung kann man davon ausgehen, dass der Temperaturunterschied zwischen bedecktem Gesichtsteil und unbedecktem Gesichtsteil größer ist und mit einem noch größeren Unbehagen verbunden ist. Die subjektiven Analysen die im Abschnitt 6.6 wiedergegeben werden, bestätigen was mit den thermographischen Fotografien beobachtet wurde.

6.5 Feuchte, die von der Schutzvorrichtung aufgenommen wurde

Die Prüfung erfolgte, wobei die Schutzvorrichtung über 1,5 Stunden ohne Unterbrechung getragen und verschiedene Tätigkeiten im Gebäude durchgeführt wurden, sitzend und bei leichter Bewegung (Gehen). In Abständen von 30 Minuten wurde die Schutzvorrichtung gewogen und es wurde bewertet, wieviel von der Feuchte, die die Person abgegeben hat, eventuell von der Schutzvorrichtung aufgenommen wurde.

	Messeinheit	Beginn	30 Minuten	60 Minuten	90 Minuten
KN95	g	5,34	5,35	5,34	5,34
chirurgische Maske	g	3,11	3,12	3,12	3,00
Schlauchtuch	g	27,81	27,93	28,84	27,87
selbstgenähte MNS	g	18,96	19,00	19,01	18,84

Aus den Prüfungen, die durchgeführt wurden, wird ersichtlich, dass die Gewichtsveränderungen minimal waren; das Feuchteempfinden, das von der Person wahrgenommen wird, ist fast ausschließlich vom Schwitzen des mit der Schutzvorrichtung abgedeckten Gesichtsteiles verursacht.

6.6 Subjektive Analysen

Das Ziel der subjektiven Analysen, an denen alle überprüften Personen, teilgenommen haben war es über eine Beurteilungsskala von 5 Punkten (Likert Skala) die Bequemlichkeit, die Schwierigkeiten beim Atmen, beim Sprechen und beim Hören und die psychologischen Effekte, die dem Tragen der Schutzvorrichtung zuzuschreiben sind, zu erfassen.

Die 5 Fragen an die teilnehmenden Personen waren folgende:

- es ist unbequem
- mir fehlt die Luft zum Atmen
- es macht mich klaustrophobisch
- mir dreht sich der Kopf
- ich habe Schwierigkeiten beim Sprechen.

Die Ergebnisse haben eine große Variabilität bei den Antworten für alle Schutzvorrichtungen, mit Ausnahme der Gesichtsschutzvisiere, aufgezeigt.

Außerdem trat ein großes Unbehagen auf, was das Tragen der Schlauchtücher betraf, was wahrscheinlich zum Teil darauf zurückzuführen ist, dass die Prüfungen in den Sommermonaten bei warmen Temperaturen stattgefunden haben.

Im Bild 23 ist der Fragebogen abgebildet. Die Beurteilungsskala lag zwischen 1 und 5 Punkte: je höher die Punktezahl, je höher das Unbehagen.

Datum, Uhrzeit	Art	Person	Anmerkungen
	<input type="checkbox"/> FFP2-KN95 <input type="checkbox"/> Chirurgische Maske <input type="checkbox"/> Schlauchtuch <input type="checkbox"/> Gesichtsschutz-visier <input type="checkbox"/> selbstgenähter MNS	M/W	

	Absolut nicht	Wenig	Durchschnittlich	Ja	Ja, sehr viel
	1	2	3	4	5
ist es unbequem?					
mir fehlt die Luft					
ich bekomme Platzangst					
mir dreht sich der Kopf					
sprechen wird schwieriger					

Bild 23. Fragebogen

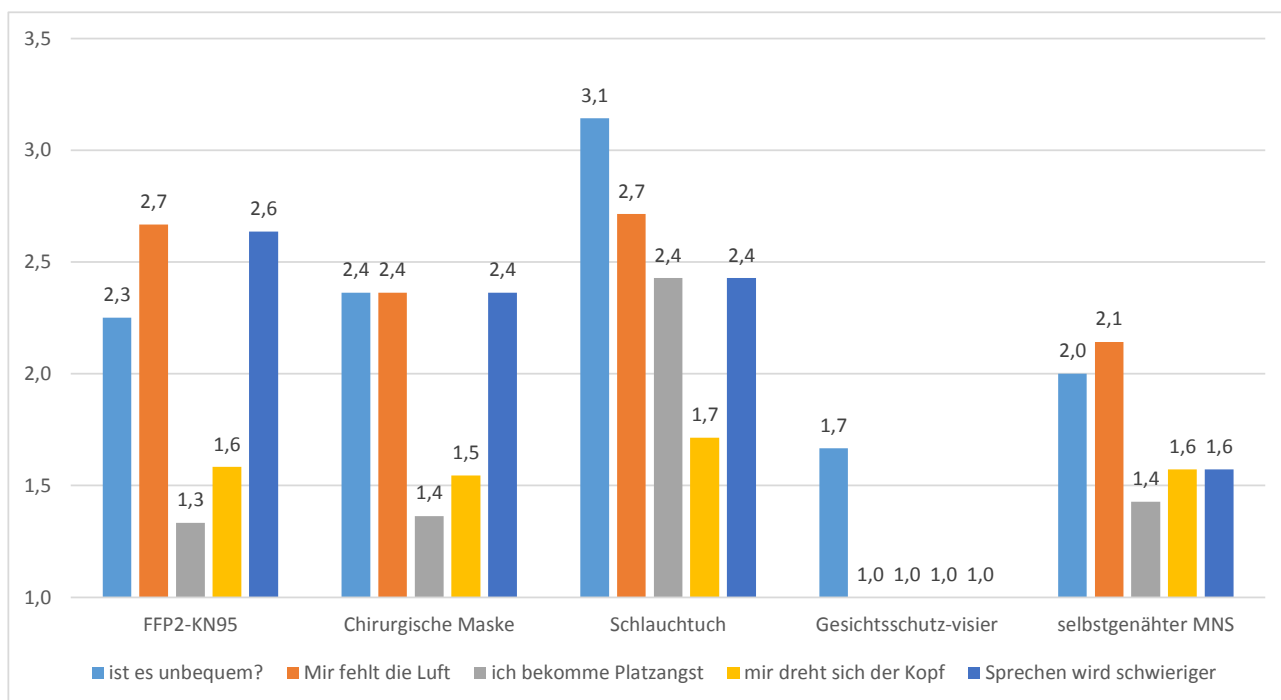


Bild 24. Ergebnisse der subjektiven Analysen aufgesplittet nach Schutzvorrichtung-Typ

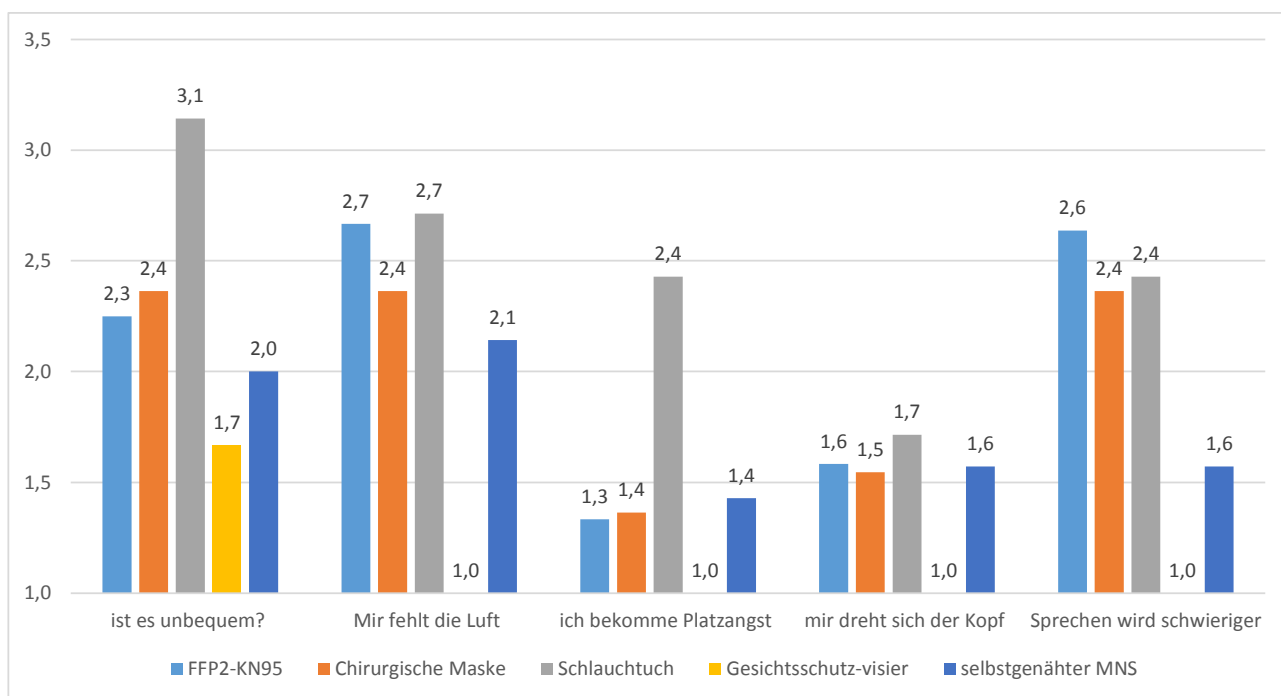


Bild 25. Ergebnisse der subjektiven Analysen aufgesplittet nach Fragen

Um einen Indikator zu finden, der das Empfinden zusammenfasst, das die befragten Personen beim Tragen der verschiedenen Schutzvorrichtungen hatten, wurde der Mittelwert der Antworten auf die 5 Fragen gebildet: siehe dazu folgende Tabelle.

	Mittel der Fragebogenantworten
FFP2-KN95	2,1
chirurgische Maske	2,0
Schlauchtuch	2,5
Gesichtsschutzvisier	1,1
selbstgenähte MNS	1,7

Aus den subjektiven Analysen wird folgendes klar:

- Das Gesichtsschutzvisier ist die Schutzvorrichtung mit der niedrigsten Punktezahl und dementsprechend mit dem größten Komfort und dem niedrigsten Unbehagen. Die Teilnehmer haben einstimmig bekundet, dass dieser Schutzvorrichtung beim Sprechen nicht hinderlich ist und nicht die Luft zum Atmen fehlen lässt.
- Die Schutzvorrichtung mit der höchsten Punktezahl, also mit dem größten Diskomfort, ist das Schlauchtuch, speziell aufgrund dessen Unbequemlichkeit, wenn man sie anzieht oder trägt.
- Zwischen den Atemschutzmasken FFP2-KN95 und den chirurgischen Masken besteht kein großer Unterschied, während im Mittel das Empfinden der Befragten bei den selbstgenähten MNS besser ist.

6.7 Zusammenfassung der Daten

Legt man die gemessenen Daten (CO₂ Konzentration, Temperaturveränderung der Gesichtsoberfläche) und die Antworten aus den Fragebögen übereinander, erhält man die Ergebnisse, die im Bild 26 wiedergegeben werden.

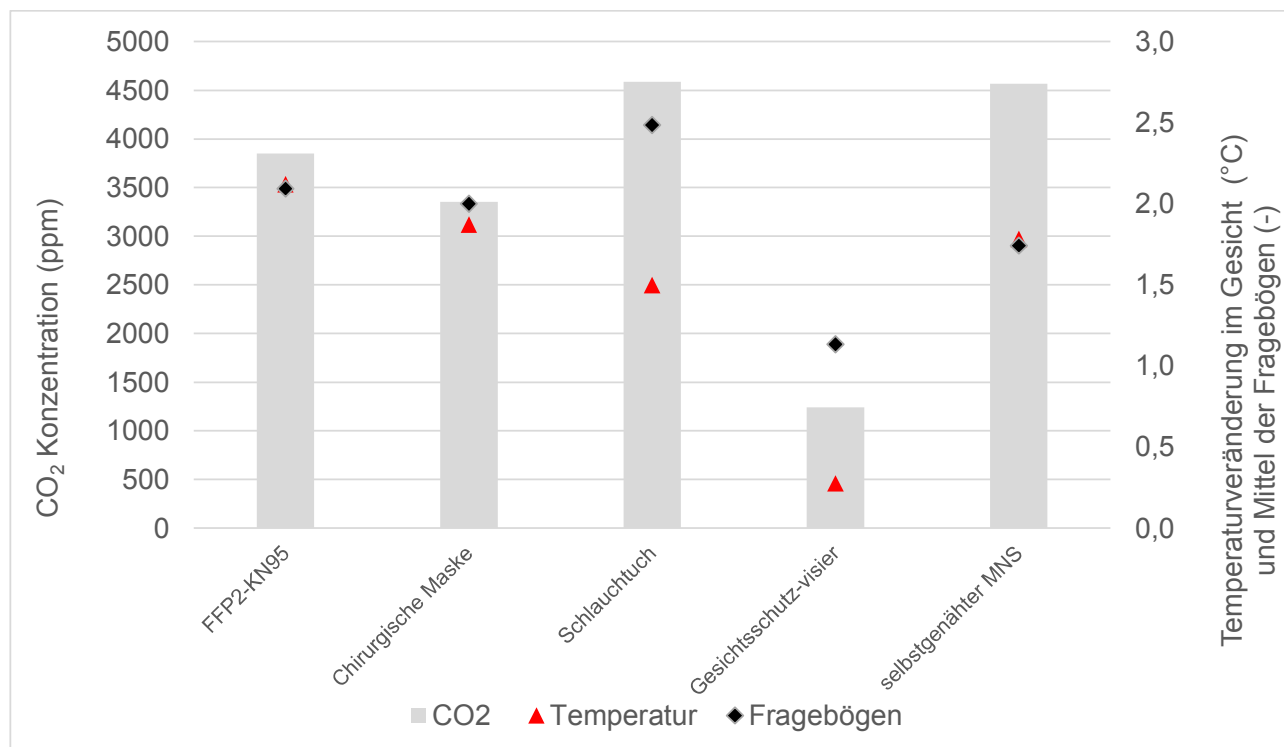


Bild 26. Zusammenfassung der objektiven und subjektiven Daten: CO₂ Konzentration (sitzend) bei der Einatmung, Temperaturveränderung im Gesicht und Mittel der Fragebögen

Legt man die Daten der CO₂ Konzentrationen über die thermographischen Analysen und über die subjektiven Analysen, erkennt man folgendes:

- CO₂ Konzentrationen, mittlere Temperaturen und Wohlbefinden weisen ähnliche Verläufe auf;
- Das Gesichtsschutzvisier ist die Schutzvorrichtung mit den durchschnittlich niedrigsten eingeatmeten CO₂ Konzentrationen im Vergleich zu allen anderen Schutzvorrichtungen;
- Zwischen den Atemschutzmasken FFP2-KN95 und den chirurgischen Masken besteht kein wahrnehmbarer Unterschied, sowohl bei den CO₂ Konzentrationen, als auch bei den Oberflächentemperaturen und bei deren Zufriedenheit.

6.7 Analysen der Schutzvorrichtung

Die Prüfungen wurden durchgeführt, wobei die Schutzvorrichtungen vor deren Benutzung in einen Glaszylinder mit zwei offenen Enden eingeführt wurden: an einem Ende wurde ein Filter in Aktivkohle angeschlossen; am anderen Ende wurde die Luft angesaugt, die zuerst über den Aktivkohlefilter gereinigt wurde, dann über die Schutzvorrichtung strömte und die flüchtigen Verbindungen aufnahm, die daraus ausgasen. Die gesammelte Luft wurde dann auf das Analysensystem übertragen.



Bild 27. Analyse der Schutzvorrichtung

Unter diesen Bedingungen wurden die Konzentrationen von Formaldehyd und von flüchtigen organischen Verbindungen bestimmt, die von den Schutzvorrichtungen ausgasen. Bei allen Schutzvorrichtungen, mit Ausnahme von einer, waren die Konzentrationen der gesuchten Substanzen und Stoffe sehr gering, eigentlich vernachlässigbar. Für die Gesichtsmaske, nach ihrem Aussehen her eine chirurgische Maske, die aber nicht als solche zertifiziert war, wurde eine Konzentration an TVOC von ca. 2300 µg/m³ gemessen. Die Messung erfolgte unmittelbar nachdem die Gesichtsmaske aus der Plastik-Verpackung, in der sie enthalten war, genommen worden war. Nach einigen Stunden, in der die Maske an der frischen Luft war, sanken die Konzentrationen auf ein akzeptables Maß. Das Schlauchtuch und der selbstgenähte Mund-Nasen-Schutz geben, einmal gewaschen, keine bedeutenden Schadstoffmengen ab.

Tabelle 7. Analyse der Emissionen der Schutzvorrichtungen



Schutzvorrichtung	Typ	Bei der Öffnung der Verpackung TVOC ppb	4 Stunden nach der Öffnung TVOC ppb	Bei der Öffnung der Verpackung Formaldehyd ppb
A	KN95	< 10	-	<5
B	zertifizierte chirurgische Maske ^a	< 10	-	<5
C	Nicht zertifizierte chirurgische Maske	2300	< 10	5
D	zertifizierte chirurgische Maske ^a	< 10	-	<5

a Schutzvorrichtung zertifiziert nach EN 14683: 2019

Tabelle 8. Zusammensetzung TVOC Schutzvorrichtung C

Parameter	Ergebnis [µg/m ³]
(Kohlenwasserstoffe) KW lineare und kettenförmige	1343
2,4-Dimethyl Heptan	271
n-Dekan	187
N,N-Dimethyl Acetamid	133
4 Methyl Oktan	116
Toluol	56
4 Methyl Undekan	36
2,3,5 Trimethyl Hexan	34
n-Dodekan	28
4 Methyl Heptan	25
2,3 Dimethyl Heptan	21
4,6 Dimethyl Dodekan	18
Ethanol	17
Summe ohne KW	940
Summe	2283



7. SCHLUSSFOLGERUNGEN

- Es wurde die eingeatmete CO₂ Konzentration (als einziger Indikator für die Luftqualität) für verschiedene Typen von Schutzvorrichtungen für Mund und Nase bestimmt.
- Es wurde der Prozentuelle Anteil des wiedereingeatmeten CO₂ im Verhältnis zum ausgeatmeten CO₂ für verschiedene Typen von Schutzvorrichtungen für Nase und Mund bestimmt.
- Für alle untersuchten Schutzvorrichtungen sind die eingeatmeten CO₂ Konzentrationen deutlich geringer als die ausgeatmeten CO₂ Konzentrationen.
- Auch, ohne getragener Schutzvorrichtung, wird ein Teil der ausgeatmeten Luft wieder eingeatmet. Dieser Effekt ist größer bei stehender Luft und geringer bei Luftbewegung.
- Die Luftbewegung verringert das wiedereingeatmete CO₂ auch bei getragener Schutzvorrichtung.
- Die eingeatmeten Konzentrationen sind höher als die Richtwerte und Empfehlungen für Lebens- und Aufenthaltsräume.
- Die Konzentrationen in der Einatemluft sind nicht wesentlich höher als jene welche in Aufenthaltsräumen gemessen werden (Schule, PkW, Büro, Wohnung).
- Die Prüfungen zeigen keine großen Unterschiede zwischen sitzender Position und leichter körperlicher Betätigung (Stepper) auf.
- Die Zunahme der Oberflächentemperatur der Haut und das damit verbundene vermehrte Schwitzen sind der größte Grund für das wahrgenommene Unbehagen.
- Die Schutzvorrichtungen nehmen keine bedeutenden Feuchtemengen auf.
- Einige Schutzvorrichtungen emittieren, unmittelbar nachdem sie aus der Verpackung genommen werden, bedeutende Mengen an flüchtigen organischen Verbindungen. Nach einigen Stunden an der frischen Luft verbessert sich dies merklich.
- Der Lebens- und Aufenthaltsraum, in dem die Schutzvorrichtung getragen wird, muss optimale Lüftungseigenschaften haben, wobei die CO₂ Konzentration unter 1.000 ppm liegen muss. Ist diese Bedingung nicht eingehalten, kann die CO₂ Konzentration in der Einatemluft in einem bedeutenden Maße ansteigen.

Ein besonderer Dank gilt allen Arbeitskolleginnen und -kollegen, der Landesagentur für Umwelt und Klimaschutz die mit Rat und Tat, mit Vorschlägen und mit Kritik und mit Ideen bei der Entwicklung und der Durchführung dieser wissenschaftlichen Arbeit und dem erfolgreichen Abschluss teilgenommen haben wie Paul Pfattner, Fiorenza Fogale, Nadia Franzoi.